

カプセル輸送技術の新しい展開

The new development of the capsule transportation technology

斎藤秀次郎 (宇都宮大学)

Hidejiro SAITO (Univ. of Utunomiya)

要旨

本研究は、従来の作動流体である水や空気によるカプセル輸送ではなく、新しい作動媒体によるカプセル輸送技術について述べる。始めに、パイプライン輸送の特徴を示し、その中でも、新しく振動を使った作動媒体によるカプセル輸送について、移動カプセルを製作し、パイプを加振させパイプ内を移動させる移動実験を行った。その実験結果を述べ、パイプ加振によるカプセル移動技術について、考察結果を述べる。

Abstract

This study describes not capsule transport by water and air but capsule transport technology by new working medium in which they are conventional working fluid. In the beginning, features of the pipeline were shown, and the movement capsule was newly manufactured even in the inside on capsule transport by the working medium using the vibration, and a pipe was shaken, and they moved pipe, and the transfer experiment was carried out. The experimental result is described, and on capsule movement technology by a pipe excitation, the consideration result is described.

1. はじめに

現在輸送手段は、鉄道輸送、船舶輸送、トラック輸送などが主に利用されているが、これらの輸送方法の他に、安定的な供給としてパイプライン輸送がある。パイプライン輸送は個体粒子を水などの液体を搬送流体として輸送するスラリー輸送や、空気を搬送流体とする空気輸送、液中に空気を加えることによって固体粒子を輸送するエアクリフト輸送など、固体粒子が液体と直接に接して移動推力を受けて輸送されるものと、固体粒子をカプセルに入れ、パイプライン中を水力または空気圧力によって輸送するカプセル輸送などがある。パイプラインのスラリー輸送は、一般的に以下のような利点があるといわれている。

- ・ 連続運転が可能であり、大量輸送ができる。
- ・ 長距離輸送が可能である。
- ・ 運転において、環境破壊、騒音、粉塵飛散などの公害が少ない。

- ・ パイプラインを敷設する経路は、一般道路、鉄道のような幅員を必要としない。

- ・ パイプラインは、道路、鉄道、河川などの既存のものと交差してよく、経路は比較的選定しやすい。

- ・ 輸送に当たっては、天候に左右されない。
- ・ 自動化が容易であり、かつ省力化ができる。
- ・ 全設備の保守管理が比較的容易である。

短所としては、

- ・ 液中に混ぜると変質するものには適用できない。

- ・ 輸送する粒子の大きさに制限がある。

- ・ パイプラインの途中で障害があると、全パイプラインを止めなければならない。

- ・ 豊富な水を必要とする。

などがある⁽¹⁾。

次に、カプセル輸送は、上記のスラリー輸送の欠点をさらに改良した輸送であり、スラリー輸送と同様の長所を有しているが、反面

スラリー輸送に無い欠点もある。

始めに、カプセル輸送が持つ長所を挙げると、

- ・水力カプセル輸送では、急斜面でも輸送ができる。
- ・漏れを嫌う物も送れる。
- ・使い捨てカプセルを使うことにより、一方配管とすることができる。
- ・スラリー輸送ができないような粗大粒子や単体を輸送することができる。

また、カプセル輸送には以下のような短所も存在する。

- ・一般に、輸送に用いたカプセルを元に戻すための配管を必要とする。
- ・空気カプセルは輸送経路の勾配に制限がある。

以上が、カプセル輸送の持つ長所と短所についてである⁽¹⁾。

2. 本研究の背景

現在のほとんどのカプセル輸送の作動流体は水かまたは空気が使われており、これらはそれぞれに問題がある。例えば、水力カプセル輸送は水漏れなどの水密性に問題があり、空気カプセル輸送は、パイプラインの傾斜勾配に空気圧パワー不足の問題があり、勾配が急な場所での空気カプセルを上昇させるのは困難となる。これらの問題を解決すれば、カプセル輸送は活用範囲を広げることができると思われる。

また、実際に使用されているカプセル輸送は、長距離の大量輸送用がほとんどであり、少量物のカプセル輸送というのはあまり見かけない。

しかし、建物の中をカプセルが移動し輸送が可能になれば、少量物の荷物の運搬や搬送などに大変便利となり、省力化となる。そのためには、水力カプセルの水漏れの心配のない、空気カプセルの推力のパワー不足や圧縮空気を送る際のブローアの騒音問題を解決す

ることができると思われる。

3. 本研究の目的

本研究の目的は、カプセル輸送の研究開発を行う中で、新しい作動媒体によるカプセル輸送技術を開発させることであり、本研究では、その作動媒体として水や空気の代わりに振動を利用してカプセルを移動させることを提案する。この方法はパイプを加振して、その中をカプセル移動させる方法である。

本研究に関しては、長年にわたり細管内を移動する技術の研究開発を行ってきたが、その結果として、パイプ加振による、カプセル移動技術を開発した。

この方法は、振動自体は加振機より得られ、水や空気のように常にパイプ内に滞留させる必要はなく、カプセルが移動してきたときだけ、パイプを加振すればよいことになり、大変効率的で、省力的である。このことについて、実際にパイプ内を移動するカプセルを製作し、パイプ内移動実験を行って、その実験結果を示し、次に、その考察結果を述べる。

4. カプセルの構造

パイプ内部を移動するカプセルの構造を図1に示す。カプセルの本体は、外径が 23mm、長さが 42mm のプラスチック容器に物が詰められるようになっている。図1に向かって右側を前進方向とし、前進方向の前側に、外径 28mm、R19mm の塩化ビニル製吸盤を接着し、後側に、外径 30mm、R22mm の塩化ビニル製吸盤を接着した。カプセルの自重は約 12g である。

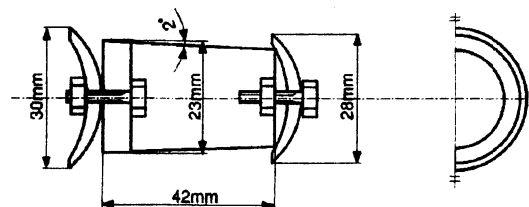


図1 カプセルの構造

5. 移動実験

5. 1 パイプ加振装置

パイプを加振する加振機(IMV 社製、VSH-10-03)の特性を表1に示す。加振機に印加する電圧は、発信器から方形波電圧を出力し、アンプで電力増幅して加振機に入力する。

表1 加振機の特性

振動加振機	
加振力(kgf)	10
最大加速度(g)	2
最大変位(mm)	2.5
使用振動数範囲(Hz)	12000
軸方向バネ定数(kgf/cm)	20
可動部重量(kg)	0.4

パイプ加振の実験装置を図2に示す。実験に使用したパイプは、内径 31mm、外径 34mm、長さ 4m のポリカーボネイト製の透明パイプで、加振機をパイプの中央に置き、パイプの中心位置を掴みパイプを加振する。パイプは水平となるようにし、パイプの両側を支持した。

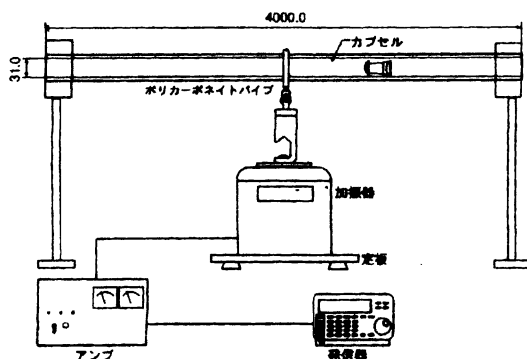


図2 パイプ加振の実験装置

5. 2 カプセルの移動速度変化

ここで、図2の実験装置によるカプセルの移動速度測定実験を行った。

(1) 実験方法

発信器から、80Hz の方形波電圧を 0.7V_{P-P} に設定して出力する。アンプより電力増幅して加振機に入力する。そして、加振機を振動させてパイプを加振する。カプセルをパイプの中に挿入して、カプセルが一定距離を移動するのに要した時間を測定し、測定時間から移動速度を計算する。これを 10 回繰り返して、カプセルの平均の移動速度を求める。これをパイプの左端から右端までの全部の長さにおいて測定する。

(2) 実験結果

カプセルの移動速度変化の実験結果を図3に示す。図3は、横軸はパイプの左側からの距離(m)、縦軸はカプセルの移動速度(m/s)を示す。図3から、カプセルの移動がパイプの位置によって断続的な速度変化しているのがわかる。また、加振点では、わずかに移動速度は上昇している。

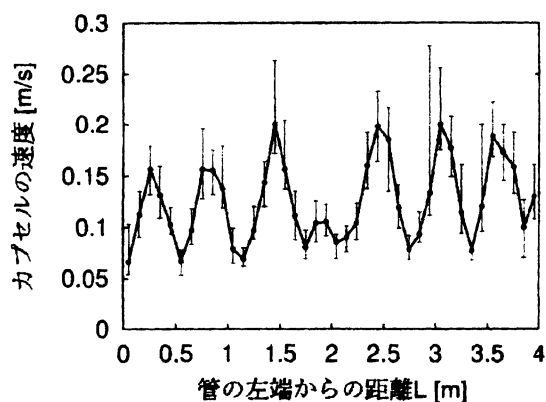


図3 カプセルの移動速度変化

5. 3 規則加振によるパイプの振幅変化

(1) 実験方法

発信器から、80Hz の方形波電圧を 0.7V_{P-P} に設定して出力する。アンプより電力増幅して加振機に入力する。加振機を振動させてパイプを加振する。そして、非接触型レーザ式変位センサを使用して、パイプの左側から 10cm 間隔でパイプの振幅測定を行った。

(2) 実験結果

パイプの振幅変化の測定結果を図4に示す。図4は、横軸はパイプの左側からの距離(m)、縦軸はパイプの振幅変位(m)を示す。図4から、図3の移動速度の測定結果と同様に、パイプの振幅がパイプのそれぞれの位置で断続的に振動変位しているのがわかる。また、加振点においても、パイプはわずかに振動しているのがわかる。

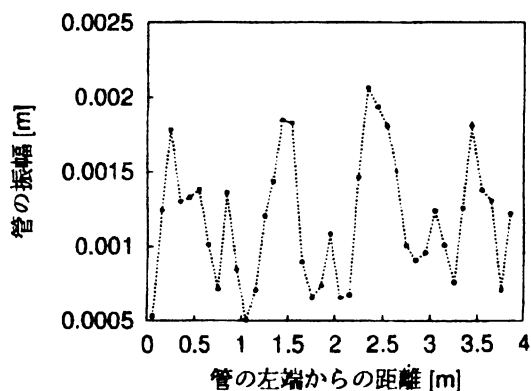


図4 パイプの振幅変化

5. 4 カプセルの速度変化とパイプの振幅変化との関係

以上の実験から、カプセルの速度変化とパイプの振幅変化との関係について調べた。二つの実験結果を合わせた図を図5に示す。図5から、カプセルの移動速度変化とパイプの振幅変化はほぼ一致しており、振幅の大きい位置でカプセルの移動速度も大きい値を示していることがわかった。

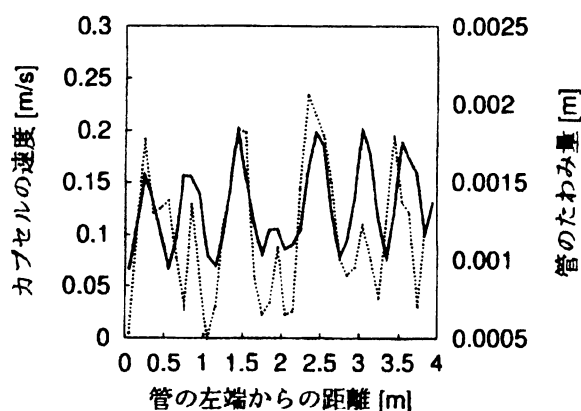


図5 カプセルの移動速度とパイプの振幅変化との関係

6. パイプの不規則加振によるカプセル移動

上記の実験において、パイプの規則的な加振によるカプセル移動は、移動速度が断続的となり、移動に脈動があり、スムーズな移動ではなく、不安定走行と思われる。そこで、パイプに不規則な振動を与え、カプセル移動が速度変化の少ない、スムーズな移動が可能かについて試みた。

6. 1 不規則加振について

不規則信号をランダムノイズ発生装置から発生し、アンプに入力して電力を増幅し加振機に入力する。加振機を振動させてパイプを不規則加振させる。以下に表2に、ランダムノイズ発生器の設定条件を示す。

表2 ランダムノイズ発生器の設定条件

電圧(Vrms)	1
減衰率(dB)	10
発振周波数(Hz)	200

また図6に、加振機の不規則振動の時系列波形例を示す。

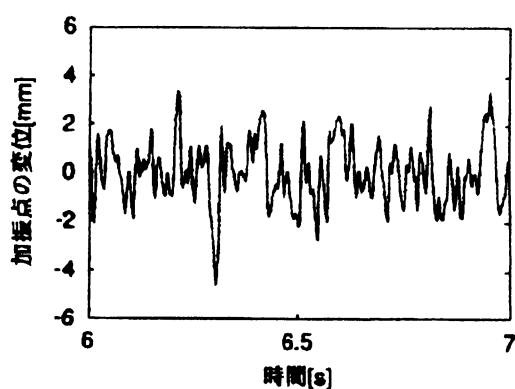


図6 加振機の時系列振動波形例

6. 2 不規則加振によるカプセルの移動速

度変化

不規則加振による、パイプのそれぞれの位置におけるカプセルの移動速度変化の測定実験を行った。

(1) 実験方法

ランダムノイズ発生器を表2の設定条件にして不規則信号を発生させる。その後は図2の実験装置を使用し、アンプに入力して電力増幅する。そして加振機に入力して、パイプを不規則加振させる。図1のカプセルをパイプの左側から挿入する。カプセルをパイプ内を移動させて、カプセルが一定距離移動するにかかった時間を測定する。測定時間から移動速度を算出し、これを10回繰り返して、移動速度の平均値を求める。

(2) 実験結果

実験結果を図6に示す。図6は、横軸はパイプの各位置(m)、縦軸はその位置におけるカプセルの平均の移動速度(m/s)を示す。また、図6内の縦幅の実線は、それぞれのパイプ各位置での移動速度のバラツキの程度を示す。

図6の結果から、カプセルの移動速度には多少のバラツキはあるが、速度差にあまり変化はなく、ほぼ安定走行していると思われる。また、パイプ左端から1mの範囲内においては速度差が大きく変化しているのがわかる。

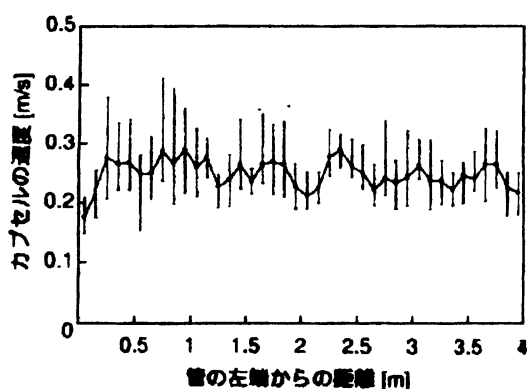


図6 カプセルの移動速度変化

6. 3 不規則加振によるパイプの振幅変化

次に、パイプを不規則加振したときの、パイプのそれぞれの位置における振幅変化の測定を行った。

(1) 測定方法

ランダムノイズ発生器を表2の設定条件にして不規則信号を発生させ、6.2節と同様に、加振機によりパイプを不規則加振させる。そして、非接触型レーザ式変位センサを使用して、パイプの左側から10cm間隔でパイプの振幅変位測定を行った。

(2) 実験結果

図7は、パイプのそれぞれの地点における、振幅変位の最大値と最小値の差をとったものである。パイプの両端と加振点では、パイプが支持されるため、振動が拘束され振幅が小さくなっている。またパイプの振幅変化は、振幅の小さい地点でも10mm程度の範囲で振動しており、規則的振動加振を与えたときと比較すると、腹と節の規則的な振幅変化が見られなかった。

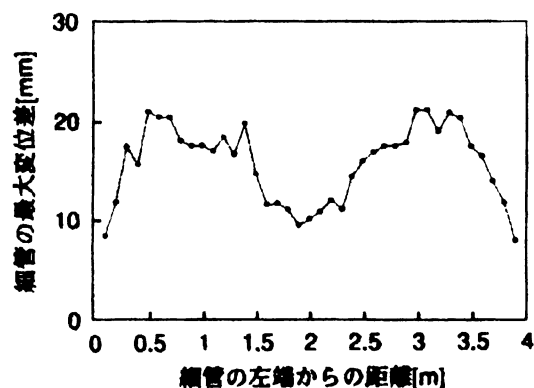


図7 パイプの各位置での最大振幅変位差

6. 4 不規則加振によるカプセル移動速度とパイプの振幅変化との関係

図6と図7の実験結果から、不規則加振によるカプセル移動速度とパイプの振幅変化との関係を調べた。その結果を図8に示す。パイプを不規則加振させた場合、パイプの振幅とカプセルの移動速度との間には直接的な関係はないことがわかった。図8は、パイプの

振幅が大きい位置でも、小さい位置でも、カプセルの速度差に大きな変化は見あたらなかった。

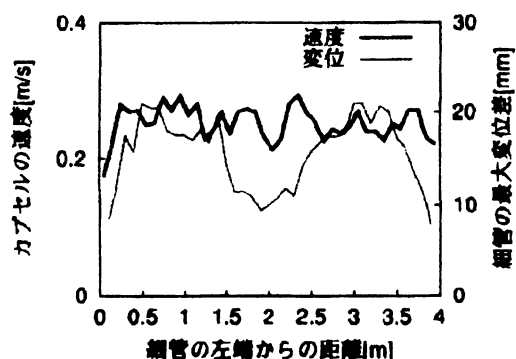


図8 不規則加振によるカプセル移動速度とパイプの振幅変化との関係

7. 考察

以上の研究結果から、パイプ加振によるカプセル移動に関して考察を述べる。

(1) 規則加振と不規則加振とによるカプセル移動速度変化の違いについて

図9に、規則加振(加振周波数 80Hz)と不規則加振(ノイズ信号)における、パイプの各位置におけるカプセルの移動速度変化の比較を示す。図9の太線は、不規則加振によるカプセルの移動速度変化であり、細線が規則加振による移動速度変化を示している。図9から、不規則加振のほうがカプセルの移動速度変化にバラツキの程度が少なく、カプセル移動が安定走行していることがわかる。

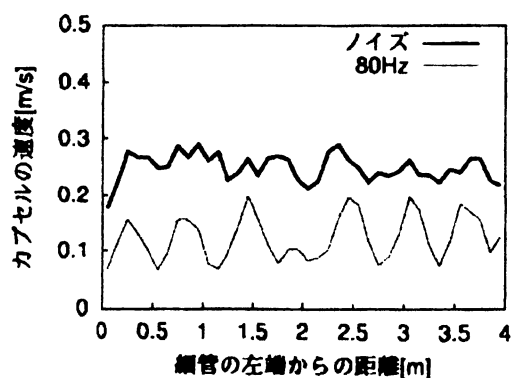


図9 カプセルの移動速度の違い

(2) 規則振動と不規則振動とによるパイプ振幅変化の違いについて

次に、規則加振と不規則加振とによるパイプの振幅変化の違いについて、その関係を図10に示す。図10から、不規則加振によるパイプの振幅変化のほうが、規則加振に比較して振幅変位が大きい結果となった。また、規則加振のほうはパイプの振動に大きな変化がなく、パイプの振幅変動の少ない比較的安定した振動と思われる。

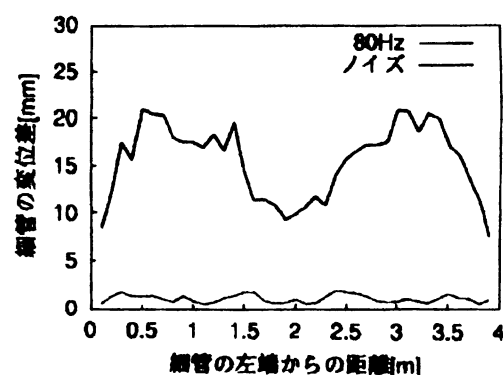


図10 パイプの規則加振と不規則加振の振幅変化の違い

8. まとめ

本研究は、日本では大変多くは採用されていないパイプラインのカプセル輸送に対する、パイプ加振という新しいカプセル移動方法について述べている。現在、物流機器はどんどん変化しており、新しい物流機器が取り入れられている状況のなかで、あえて本論文のような特徴的な内容の論文の投稿を行った。

あまり目立たないカプセル輸送だが、欧米では大変多く使われており、生活圏におけるライフラインの役割を担っている。

現在の日本では、パイプライン輸送の主な輸送物資は、石油や石炭、天然ガスなどのエネルギー系の物の大量輸送として使用されており、都市部においては、ゴミ処分場における

家庭の廃棄物の搬送用として使われている⁽²⁾。

しかしパイプ自体は、私たちの生活環境のあらゆる所に使われており、これらのパイプの中をカプセルや物が自由に移動できるようになれば、生活に役立ち大変便利になると思われる。

今回の振動を使ったカプセル移動技術は、研究室レベルの段階で実用化の実績はまだないが、実用化の可能性は充分にあると思われる。

最後に、本研究に対しご協力頂いた宇都宮大学名誉教授の佐藤啓仁先生、ならびに富山雅人氏、斉藤光洋氏に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- (1) スラリー輸送研究会編：スラリー・カプセル輸送技術要覧、開発問題研究所、pp.19-20、1984
- (2) 三木季雄：パイプライン立国のすすめ、日本工業出版、pp.1-56、2002